

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET**  
**BIOLOŠKI ODSJEK**

**INTERFERENCIJA KOD ULTRAZVUČNE EHOLOKACIJE**  
**ŠIŠMIŠA**

**SONAR INTERFERENCE IN BATS EHOLOCATION**

**SEMINARSKI RAD**

Ksenija Hocenski

Preddiplomski studij znanosti o okolišu

(Undergraduate Study of Enviromental science)

Mentor: izv. prof. dr. sc. Perica Mustafić

Zagreb, 2016.

# SADRŽAJ

1. Uvod .....	3
2. Šišmiši .....	4
3. Eholokacija .....	6
3.1. Eholokacijski signali .....	6
3.2. Prilagodbe na eholokaciju .....	7
3.3. Podjela šišmiša s obzirom na eholokaciju .....	7
3.4. Podjela na temelju tipa signala .....	9
3.5. Podjela na temelju načina emitiranja signala .....	10
4. Podjela šišmiša s obzirom na stanište .....	13
5. Interferencije eholokacijskih signala .....	15
6. Literatura .....	16
7. Sažetak .....	17
8. Summary .....	17

# 1. UVOD

Krajem 18. stoljeća, talijanski prirodoslovac Lazzaro Spallanzani otkrio je da šišmiši koriste eholokaciju, odnosno da "šišmiši vide svojim ušima". Kada bi im stavio vreću na glavu, oni bi bili dezorijentirani, zabijali bi se u zidove i ne bi bili sposobni pronaći svoj plijen, no kada bi im prekrpio samo oči, oni bi se ponašali normalno i pronašli bi svoj plijen.

Zanimalo ga je kako šišmiši, kojima su prekrivene oči, to uspijevaju. Stoga je proveo eksperiment, u kojem im je u uši stavio limene cjevčice, u jednom slučaju šuplje, a u drugom slučaju punjene voskom. Šišmiši koji su imali vosak, bili su dezorijentirani, a oni koji su imali šuplje cjevčice, letjeli su normalno. Tada je ustanovio da je šišmišima za orijentaciju potreban sluh, dok je vid manje bitno osjetilo.

U njegovo doba, malo se znalo o fizici zvuka, pogotovo zvuka koji je nečujan za ljudsko uho. Tada nije postajala spoznaja da bi životinje mogle imati osjetilne sposobnosti koje čovjek nema, jer je tada čovjek bio shvaćen kao najrazvijenije živo biće. Do 1938. godine nije bilo značajnih pomaka o novim saznanjima tada još neustanovljene eholokacije kod šišmiša, stoga je to otkriće nazvano "Spallanzanijev problem šišmiša". Te godine, Donald Griffin razvio je opremu koja detektira ultrazvučne signale i na taj način potkrijepio Spallanzanijev eksperiment. Tek tada je javnosti otkrivena izvanredna sposobnost insektivornih šišmiša da se orijentiraju pomoću detekcije eholokacijskih ultrazvučnih signala (Hill i sur. 2004).

Šišmiši koji koriste eholokaciju kako bi pronašli svoj plijen, tj. kukce, suočavaju se sa mnogobrojnim problemima. Oni moraju detektirati, klasificirati i točno locirati svoj plijen te uz sve to, razlikovati eholokacijski signal koji se reflektirao od njihovog plijena i neželjeni eholokacijski signal ili buku. Naravno, ti problemi ovise o tome gdje šišmiši love svoj plijen te love li leteći plijen ili plijen koji nepomično stoji na tlu ili čak pliva u vodi (Schnitzler i sur. 2001).

## 2. ŠIŠMIŠI

Šišmiši (red Chiroptera) su najspecifičniji i najneobičniji red unutar sisavaca. Zajedno sa pticama, oni su jedini živi kralježnjaci koji su sposobni letjeti. Upravo zahvaljujući letu i eholokaciji, kao načinu orijentacije, unutar skupine sisavaca, odmah nakon glodavaca, drugi su po brojnosti i rasprostranjenosti u svijetu. Broj njihovih vrsta čini oko 20% sveukupne do sada istražene populacije sisavaca (Jones i sur. 2006, <http://animaldiversity.org/>).

Specifične su građe s velikim krilima gdje glavnu potporu daju prsti među kojima je raširena letna kožica (letnica), za razliku od ptica kojima potporu krilima daje zglobov. Osim specifičnih krila, na repu također imaju raširenu letnicu koja je od velike važnosti za vrijeme leta. Imaju razvijen prsni koš i ramena, kako bi let učinili što efikasnijim. Za razliku od ramena i prsa, stražnji ekstremiteti su mali i nerazvijeni, jer nemaju nikakvu ulogu osim pomoći pri prihvaćanju za podlogu.

Općenito, šišmiši se dijele u dva podreda, Megachiroptera i Microchiroptera. Takva podjela ne poklapa se u potpunosti s njihovim morfološkim značajkama, no ipak postoji nekoliko bitnih ekoloških značajki koje ih dijele.

Megachiroptera uključuje jednu porodicu (Pteropodidae) sa 166 vrsta, dok Microchiroptera uključuju 16 porodica, s oko 759 vrsta. Bitna ekološka razlika između ta dva podreda je način prehrane. Megachiroptera su primarno herbivori, hrane se hranom biljnog porijekla, nektarom i polenom. Microchiroptera su široko rasprostranjeni insektivori, iako je unutar podreda došlo do specijalizacije, pa osim insektivora postoje i karnivori, koji se hrane malim glodavcima, drugim šišmišima, gmazovima, vodozemcima, pticama, pa čak i ribama. Osim karnivora postoje i vrste koje se također hrane nektarom cvijeća te hematofagne vrste koje piju krv sisavaca (2 vrste) i ptica (1 vrsta). Među važnije značajke koje dijele Megachiroptera od Microchiroptera je i način na koji se orijentiraju u prostoru (<http://animaldiversity.org/>).

Svi šišmiši koji spadaju u podred Microchiroptera imaju sposobnost emitiranja ultrazvučnih signala uz pomoć grkljana te na taj način se orijentiraju u prostoru i traže plijen. Upravo radi toga većinom su upečatljivog izgleda s velikim uškama kako bi što bolje "ulovili" reflektirajuće ultrazvučne signale. Dok svi šišmiši koji nemaju tu sposobnost emitiranja pomoću grkljana, spadaju u podred Megachiroptera, oni se ne koriste eholokacijom kao načinom orijentacije nego

imaju razvijen vid te radi toga imaju puno veće i razvijenije oči od Microchiroptera (Jones i sur. 2006).

Naravno, to nisu sve razlike između ova dva podreda, razlikuju se i po rasprostranjenosti. Megachiroptera su šišmiši "Starog svijeta" koji žive u tropskim krajevima, dok su Microchiroptera široko rasprostranjeni po cijelom svijetu.

Šišmiši se mogu pronaći u svim tipovima staništa, osim u hladnom polarnom području. Njihovo tipično stanište uključuje tople i tropske šume, rupe u drveću, livade, voćnjake, speleološke objekte te rupe u napuštenim građevinama u urbanim sredinama.

Šišmiši iz podreda Microchiroptera u hladnom dijelu godine hiberniraju, jer imaju nestabilnu tjelesnu temperaturu. Hiberniraju u spiljama, u velikim skupinama od nekoliko stotina jedinki. S druge strane, šišmiši iz podreda Megachiroptera imaju stabilnu tjelesnu temperaturu i ne moraju hibernirati, iako i oni žive u zajednici.

Šišmiši su vrlo ugrožena skupina životinja čija zaštita je od velike važnosti, prvenstveno jer ženke imaju mali broj mladih, svega jedan ili dva po leglu, a sekundarno, jer na krilima imaju vrlo osjetljivu kožicu koja se na dnevnom Sunčevom svjetlu može osušiti i tako im naškoditi (<http://animaldiversity.org/>).

### 3. EHOLOKACIJA

Eholokacija je mehanizam detekcije reflektirajućih zvučnih valova kao osnova za orijentaciju u prostoru. Životinje koje ispuštaju signale visoke frekvencije, uglavnom ultrazvučne signale, koriste reflektirajuće valove koji su se odbili od bilo kakvih objekata (drvo, građevina, itd.) kako bi na temelju njih detektirali i okarakterizirali svoju poziciju u prostor u kojem se nalaze. Osim toga, mnogi šišmiši, pogotovo oni koji se hrane letećim insektima, koriste eholokaciju za detekciju, identifikaciju i točno pozicioniranje svog plijena (Schnitzler i sur. 2001, Hill i sur. 2004).

Ovakav sofisticirani eholokacijski sustav evoluirao je jedino kod šišmiša, podred Microchiroptera i kod nekih kitova zubana. Manje učinkovit sustav eholokacije zabilježen je kod nekoliko vrsta šišmiša iz podreda Megachiroptera i kod dva roda ptica (<https://en.wikipedia.org/>).

#### 3.1 Prilagodbe na eholokaciju

Šišmiši koji koriste eholokaciju, evolucijski su razvili razne morfološke prilagodbe i modifikacije na razini živčanog sustava kako bi emitirali signale i detektirali reflektirajuću jeku. Jedna od uočljivijih morfoloških značajki je njuška, koja je pokrivena kompleksnim naborima sa nosnicama koje su specifično oblikovane kako bi stvarale efekt zvučnika. Također, određene vrste imaju vrlo uočljive, dugačke uške kako bi na što efikasniji način "ulovili" jeku.

Reflektirajući signali koje detektiraju šišmiši su ekstremno teški za dešifriranje, upravo radi toga došlo je do nekoliko prilagodbi u unutarnjem uhu. Ono je mehanički izolirano od ostatka lubanje s masnim i vezivnim tkivom te s krvožilnim sustavom, jer se na taj način smanjuje koštana provodljivost zvuka od usta do unutarnjeg uha koja bi smetala šišmišu pri detekciji signala. Također, bubnjić i slušne koščiće, izuzetno su male i lagane te omogućuju šišmišu dešifriranje ultrazvučnih frekvencija.

Jedna od najvažnijih modifikacija na razini živčanog sustava je povećanje slušnog centra u velikom mozgu, koji zauzima izuzetno veliki dio vrlo malog mozga šišmiša. Pri emitiranju signala, slušni osjetni sustav je reduciran, na način da se određeni mišić u srednjem uhu kontrahira na nekoliko sekundi i na taj način trenutačno smanji osjetljivost uha (Hill i sur. 2004).

### 3.2 Podjela šišmiša s obzirom na eholokaciju

Prije razvoja molekularnih istraživanja, sistematizacija šišmiša temeljila se na morfološkim i paleontološkim podacima. Prva značajna podjela dijelila je šišmiše u dva podreda, kao što je već gore navedeno, svi šišmiši koji reproduciraju signale pomoću grkljana spadaju u podred Microchiroptera, dok svi šišmiši koji nemaju tu sposobnost spadaju u Megachiroptera. Zatim slijedi podjela temeljena na molekularnim istraživanjima, prema kojoj se podred Microchiroptera dalje dijeli na Yinochiroptera i Yangochiroptera. Svi šišmiši koji nemaju predčeljusnu kost (kost gornje čeljusti na kojoj se nalaze sjekutići) ili ju pak imaju potpuno pomičnu, spadaju u Yinochiroptera. Dok svi ostali šišmiši, kao i svi ostali sisavci, imaju tu strukturu sjedinjenu i spadaju u Yangochiroptera (Jones i sur. 2006).

### 3.3 Eholokacijski signali

Svaki šišmiš koji ima visoko specijalizirani eholokacijski sustav razlikuje se po svom specifičnom tipu signala. Razlike su u strukturi frekvencije, trajanju, razini zvuka (Sound Pressure Level, SPL). Struktura signala različita je prema svrsi za koju šišmiš koristi eholokaciju. Signal koji šišmiš emitira kada traži plijen, razlikuje se od signala kada mu je on već prišao.

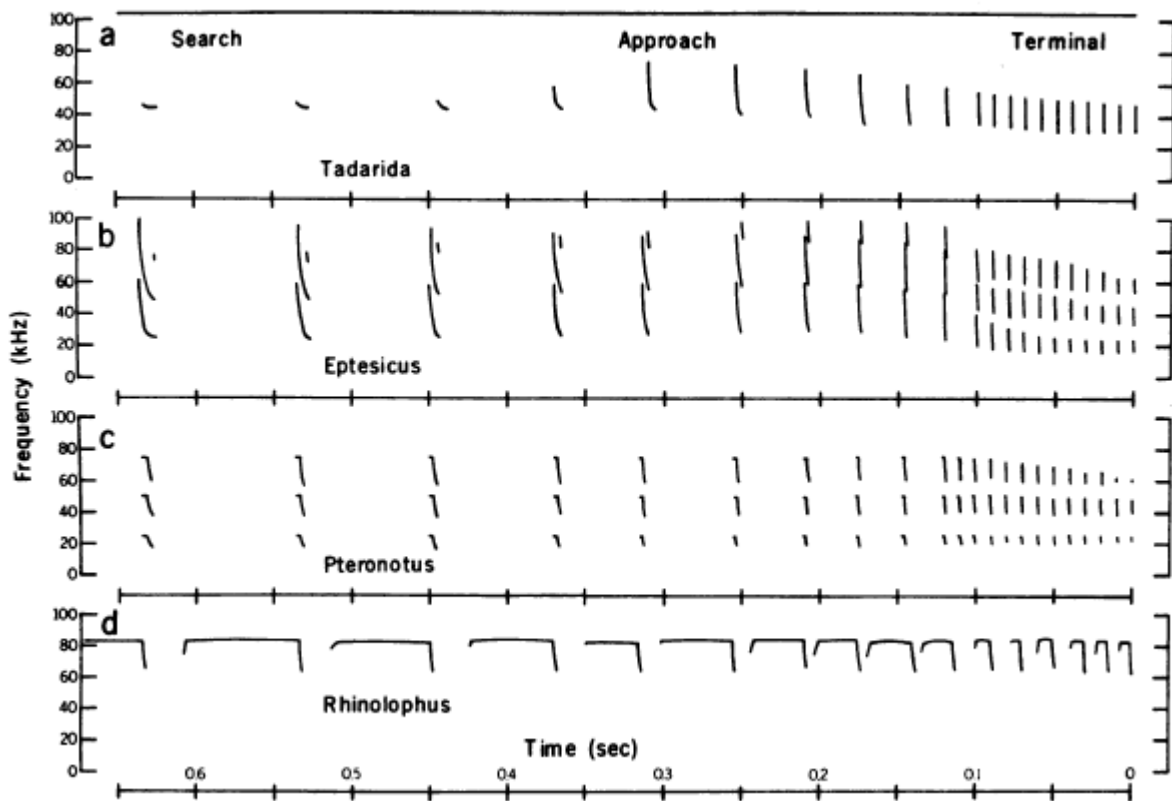
Šišmiši koji tragaju za svojim plijenom moraju detektirati, identificirati i odrediti točnu lokaciju plijena, no još važniji zadatak je razlikovati reflektirajući signal, odnosno jeku plijena od jeke neželjenog plijena kao što su na primjer grančice ili lišće. Neki šišmiši oslanjaju se djelomično ili čak u potpunosti na svoja ostala osjetila, kao što je na primjer pasivno slušanje, odnosno detekcija zvukova, kao što je šuštanje ili zujanje krilima kod kukaca (Schnitzler i sur. 2001).

Neovisno o tome traže li šišmiši svoj plijen eholokacijom ili pasivnim slušanjem, njihovo traganje sastoji se od tri faze (Slika 1.):

1. Faza detekcije u kojoj šišmiš tijekom leta periodično ispušta signale otprilike svakih 50 ms. Svaki zvučni signal sastoji se od dugosilaznih tonova, frekvencije od 100 kHz do 20 kHz. U ovoj fazi šišmiš detektira reflektirajući signal.

2. Iduća faza je identifikacija, u kojoj šišmiš kategorizira plijen na temelju specifičnosti informacija koje je dobio jekom. Specifične informacije šifrirane su kompleksnim valnim duljinama reflektirajućih valova. Signali koje ispušta šišmiš u ovoj fazi su učestaliji.

3. Lociranje plijena je konačna faza, u kojoj šišmiš emitira signale koji su vrlo kratki i učestali, svakih 0,5 ms, a frekvencija im je vrlo reducirana. U ovoj fazi otkrivaju točnu poziciju plijena na temelju vremena koje je potrebno da se emitirani signal vrati jekom (Schnitzler i sur. 2001).



**Slika 1.** Tri faze ehlokacije kod četiri različite vrste šišmiša. Faza detekcije od 0.6 do 0.2 s, faza identifikacije od 0.2 do 0.1s i od 0.1s do samog hvatanja plijena je faza lociranja (Simmons i sur. 1979).

Raspon ehlokacije pomoću koje oni traže svoj plijen, prostorno je ograničen. Sound Pressure Level (SPL) je razina zvuka mjerena u paskalima, kao jedinici tlaka koju emitiraju



šišmiši kod eholokacije, stoga oštro opada s približavanjem plijenu (zbog geometrijskog i atmosferskog prigušenja zvuka u zraku).

Maksimalna udaljenost na kojoj šišmiš može detektirati svoj leteći plijen opada s povećanjem frekvencije signala, vlažnosti i temperature zraka te smanjenja veličine plijena. Zbog toga eholokacija pripada u sustave pronalaska plijena na kratkim udaljenostima (Schnitzler i sur. 2001).

Šišmiši koji koriste eholokaciju, emitiraju ultrazvučne signale koji mogu biti periodični s opadajućom frekvencijom, to su takozvani FM i CF šišmiši, koji emitiraju ultrazvučne signale konstantne frekvencije.

### **3.4 Podjela na temelju tipa signala**

Šišmiši koji koriste eholokaciju kao način orijentacije dijele se na temelju tipa signala u tri skupine: širokopojasni signali, uskopojasni signali i signal konstantne frekvencije (CF) sa Dopplerovim efektom (DSC).

1. Uskopojasni signal pogodan je za detekciju plijena, jer aktivira živčane putove koji su odgovorni za dešifriranje frekvencije jeke. Imaju važnu ulogu u klasifikaciji letećeg plijena. Kada se emitirani signal odbije od krila letećeg kukca začuje se signal koji je nekoliko puta jači od jeke koja bi nastala da se signal odbio od kukca koji nepomično stoji, na taj način šišmiš može klasificirati kukca, no radi toga je manje povoljan za lociranje točne pozicije kukca.

Uskopojasne komponentne signala, dijele se na dva podtipa: kvazi-konstantna frekvencija (QCF) kod koje frekvencija oscilira za nekoliko kHz. Drugi podtip uskopojasnog signala ima konstantno dugu frekvenciju (CF) kod koje frekvencija oscilira za nekoliko stotina Hz.

2. Širokopojasni signali sastoji se od najnižih frekvencija (FM), koje su manje pogodne za detekciju, jer stvaraju slabi reflektirani signal, odnosno jeku. No, frekvencijski modulirani signali pogodni su za lociranje plijena, jer šišmiš na temelju njih može precizno odrediti udaljenost i kut njegove lokacije. Također,

reflektirajućom jekom šišmiši dobivaju povratnu informaciju o karakteristikama kukca, kao što je primjerice tekstura.

3. Signal konstantne frekvencije (CF) s Dopplerovim efektom (DSC), kao i uskopojasni signali, prigodni su za detekciju slabih jeka, no nešto lošiji za određivanje točne lokacije plijena. Kombinacija s Dopplerovim efektom olakšava detekciju i klasifikaciju letećih kukaca u okolišu koji je prepun različitih zvukova. Dopplerov efekt u ovom slučaju stvara pomak u frekvenciji signala koji refleksijom od plijena ili nekog objekta šalje reflektirajuću jeku na višoj frekvenciji.

No, šišmiši koji koriste eholokaciju, ne drže se striktno samo jednog tipa signala. Šišmiši koji obavljaju više radnji istovremeno, kombiniraju različite elemente signala koji im u tom trenutku najviše odgovaraju. Na primjer, šišmiši iz roda *Myotis* često lete iznad otvorenih površina pri čemu emitiraju prvo širokopojasni signal (FM), zatim kvazi-uskopojasni (QCF) i na kraju opet širokopojasni signal. FM komponente su prigodne za točno lociranje plijena, dok uskopojasna komponenta poboljšava detekciju plijena (Schnitzler i sur. 2001).



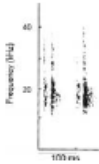

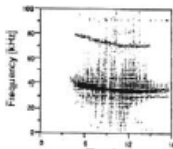

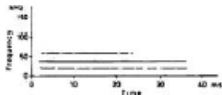

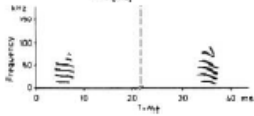

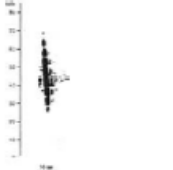

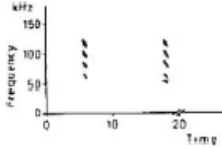

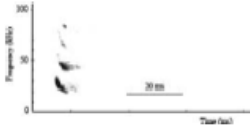

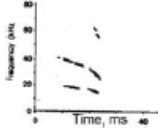

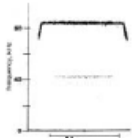

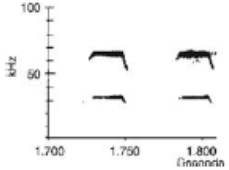
### 3.5 Podjela šišmiša na temelju načina emitiranja signala

Ova klasifikacija temelji se na signalima koje emitiraju šišmiši kada traže svoj plijen (Jones i sur. 2006). Šišmiši emitiraju signale ovisno o staništu i okolišu u kojem žive (Slika 2.).

- a) Šišmiši koji ne emitiraju eholokacijske signale - to su šišmiši "Starog svijeta" (Pteropodidae) koji imaju razvijen vid s reflektirajućom opnom na mrežnici oka (tapetum lucidum) koja im pomaže pri orijentaciji noću. Kao odgovor na to što se hrane biljkama, a ne kukcima, regresivnom eholokacijom su izgubili sposobnost eholokacije.
- b) Kratki, širokopojasni signali - koriste ih šišmiši iz roda *Rousettus*, oni su jedni od rijetkih šišmiša iz podreda Megachiroptera, koji proizvode zvukove pomicanjem jezika. Ovaj način proizvodnje signala razlikuje se od svih ostalih

eholokacijskih signala, koji su proizvedeni pomoću grkljana, no imaju istu ulogu.

- c) Uskopojasni signal s dominantnom osnovnom harmonijom - ograničene su frekvencije i relativno dugog trajanja, tipični su za šišmiše koji lete na otvorenim površinama i prikladni su za detekciju letećeg plijena, npr. kukca. Ovi signali su dugog trajanja, jer se reflektirani signal, odnosno jeka, vraća tek kada emitirani signal dođe do plijena, pa na taj način ne dolazi do interferencije ta dva signala.
  - d) Uskopojasni signal s više dodatnih harmonija - neki šišmiši emitiraju jedan dominantan signal, koji je uskopojasan, ali uz njega postoje dodatni signali koji su također uskopojasni, ali su jači po intenzitetu.
  - e) Kratki, širokopojasni signali s dominantnom osnovnom harmonijom - šišmiši ih emitiraju kada lete kroz okoliš koji je prepun drugih zvukova, na taj način izbjegavaju interferenciju s jekom. Ovaj tip signala je pogodan za lociranje plijena u sve tri dimenzije.
  - f) Kratki, širokopojasni višeharmonijski signali – šišmiši koji žive na istom području unutar obitelji emitiraju ovaj tip signala. Višeharmonijski signali najvjerojatnije poboljšavaju šišmišu raspoznavanje unutar različitih vrsta.
  - g) Širokopojasni signali dugog trajanja - samo jedna vrsta šišmiša koristi ovaj tip eholokacijskog signala (*Myzopoda aurita*), signali su dugog trajanja, do 23 ms i postoje dodatni signali.
  - h) Signali konstantne frekvencije - radi dugog trajanja omogućavaju detekciju plijena, ali i klasifikaciju. Kao što je prethodno već spomenuto, omogućavaju hvatanje letećeg plijena u okolišu koji ima okolne zvukove zahvaljujući Dopplerovom pomaku.
- Ovaj tip eholokacijskog signala je jedan od najsofisticiraniji eholokacijskih signala kojeg koriste životinje.

Echolocation call type	Bat species (family)	Spectrogram	Bat species (family)	Spectrogram	Refs
		Yinpterochiroptera		Yangochiroptera	
(a) No echolocation	 <i>Cynopterus brachyotis</i> (Pteropodidae)				
(b) Brief, broadband tongue clicks	 <i>Rousettus aegyptiacus</i> (Pteropodidae)				[43]
(c) Narrowband, dominated by fundamental harmonic			 <i>Lasiurus borealis</i> (Vespertilionidae)		[71]
(d) Narrowband, multiharmonic	 <i>Rhinopoma hardwickii</i> (Rhinopomatidae) <sup>b</sup>		 <i>Taphozous melanopogon</i> (Emballonuridae)		[46]
(e) Short, broadband, dominated by fundamental harmonic			 <i>Myotis daubentonii</i> (Vespertilionidae)		[72]
(f) Short, broadband, multiharmonic	 <i>Megaderma lyra</i> (Megadermatidae)		 <i>Mystacina tuberculata</i> (Mystacinidae)		[46,53]
(g) Long, broadband, multiharmonic			 <i>Myzopoda aurita</i> (Myzopodidae)		[56]
(h) Constant frequency	 <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Rhinolophidae)		 <i>Pteronotus parnellii</i> (Mormoopidae)		[55,73]

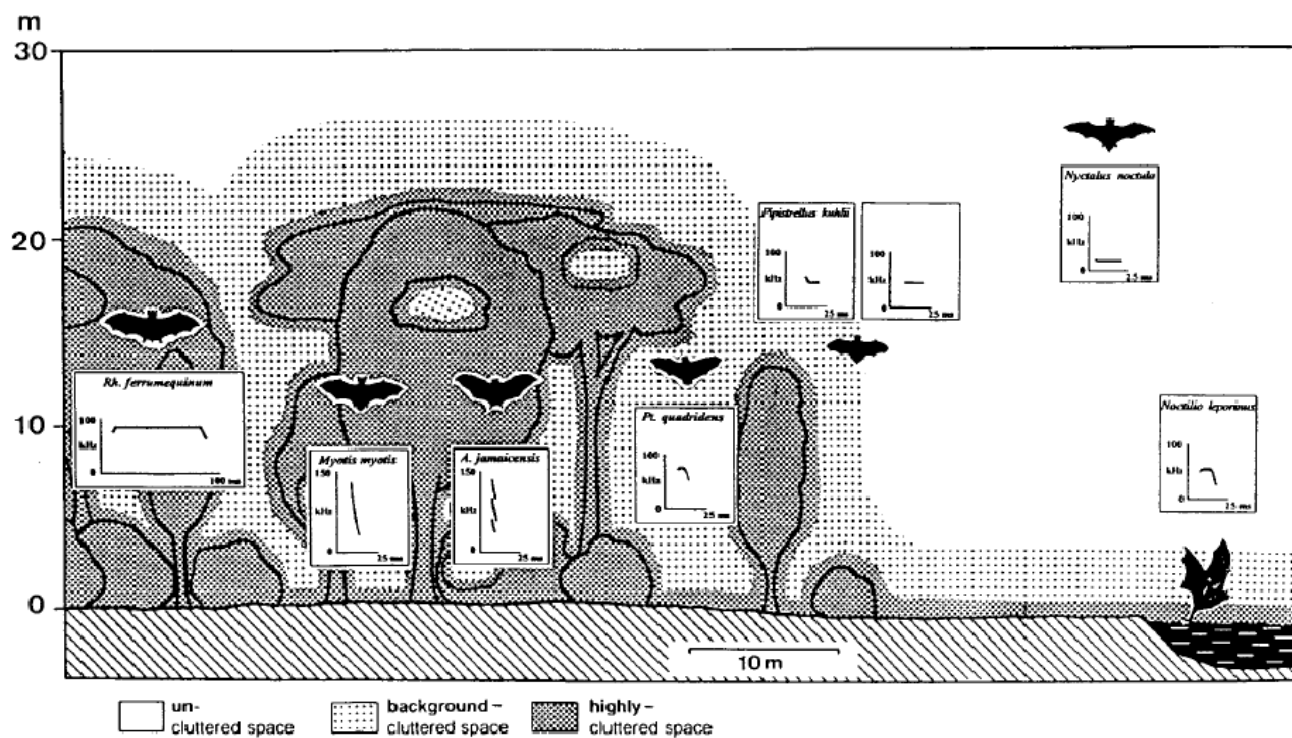
**Slika 2.** Klasifikacija šišmiša Yinochiroptera i Yangochiroptera s obzirom na način emitiranja eholokacijskog signala (Jones i sur. 2006).

## 4. PODJELA ŠIŠMIŠA S OBZIROM NA STANIŠTE

Šišmiši koji pomoću eholokacije tragaju za hranom izloženi su raznim zvukovima iz okoliša koji im predstavljaju smetnje. Takvi okolni zvukovi, tj. buka, ograničavaju ne samo njihove osjetne sposobnosti (eholokacija, vid, miris, pasivno osluškivanje) za detekciju, klasifikaciju i točno lociranje plijena, nego ograničavaju i njihove motoričke sposobnosti, kao što je na primjer let. Šišmiši koji su izloženi buci, moraju se prilagoditi takvim uvjetima uz pomoć posebnih manevarskih sposobnosti kako bi u isto vrijeme mogli percipirati plijen i izbjeći sudar (Schnitzler i sur. 2001). Opisana su tri tipa staništa s obzirom na buku kojoj su šišmiši izloženi (Slika 3.):

- A. Stanište bez buke - to su otvorena područja, daleko od vegetacije, tj. šume ili područja visoko iznad tla. Nema dodatnih eholokacijskih signala koji bi ometali šišmiše pri detekciji jeka, stoga svaka reflektirajuća jeka koju šišmiši "uhvate" upućuje na leteći plijen.
- B. Stanište s pozadinskom bukom - to su rubna područja vegetacije, tj. šume ili neke vodene površine. Jeka je popraćena dodatnom eholokacijskom bukom iz pozadine, koja šišmišu stvara dva problema:
  - Prvo, mora raspoznati jeku koja je nastala refleksijom od njegovog plijena i pozadinsku jeku;
  - Drugo, moraju dešifrirati pozadinsku jeku kako bi se na temelju nje mogli orijentirati i izbjeći sudar.Granicu između staništa s pozadinskom bukom i staništa bez buke lako se može odrediti na temelju ponašanja šišmiša tijekom eholokacije. Šišmiši u staništu bez buke emitiraju dugačke ili uskopojasne signale, dok šišmiši u staništu s pozadinskom bukom emitiraju širokopojasne signale. Prelazak iz jednog u drugi tip staništa najbolje se očituje u promjenama ritma signala i ostalim svojstvima zvuka.
- C. Staništa s velikom koncentracijom buke - to je prostor najbliži tlu, područje lišća i hrane, kao što su kukci, druge životinje, voće, nektar, itd. U ovom staništu postoje šišmiši koji koriste širokopojasne signale (FM), a jeka koja se reflektirala od hrane prikriivena je bukom, što šišmišu stvara smetnje pri

detekciji jeke. Drugi tip signala koji koriste šišmiši su signali konstantne frekvencije (CF), koji detektiraju leteće kukce, što opet dovodi po preklapanja s pozadinskom bukom.



**Slika 3.** Tri tipa staništa šišmiša s obzirom na područja na kojima hvataju svoj plijen (Schnitzler i sur. 2001).

## 5. INTERFERENCIJE EHOLOKACIJSKIH SIGNALA

Razlikovanje eholokacijskog signala plijena od ostalih signala koji interferiraju, vrlo je važan zadatak s kojim se šišmiši koji koriste eholokaciju moraju suočiti. Kada dolazi do interferencije, odnosno preklapanja reflektirajućeg signala plijena i svih ostalih eholokacijskih signala koji stvaraju buku, javlja se takozvani maskirajući efekt (Schnitzler i sur. 2001). Postoje dva tipa tog efekta:

- Prvi tip se javlja kada kukac leti blizu šišmiša te se njegov eholokacijski signal preklapa s emitiranim signalom šišmiša, na taj način smanjena je vjerojatnost da će šišmiš uspjeti detektirati plijen koji je ispred njega.

- Drugi se tip pak javlja kada se leteći kukac nalazi puno bliže okolnoj buci, npr. rubu vegetacije te na taj način dolazi do interferencije pozadinske buke i eholokacijskog signala kukca. Tada je također smanjena vjerojatnosti detekcije.

Stoga, jedini način da šišmiš detektira svoj plijen je da se kukac nalazi dovoljno daleko i od samog šišmiša i od pozadinske buke.

Naravno, takvi maskirajući efekti ovise o tipu signala, SPL i drugim svojstvima.

Svi šišmiši (osim onih koji koriste signale konstantne frekvencije (CF) s Dopplerovim efektom) izbjegavaju preklapanja eholokacijskih signala, upravo radi maskirajućeg efekta.

Kao što je već prije navedeno, CF signali s Dopplerovim efektom, ne stvaraju maskirajući efekt, jer je emitirani signal nešto niže frekvencije od reflektirajućeg signala radi postojanja Dopplerovog pomaka, te na taj način ti šišmiši nisu osjetljivi na interferenciju signala.

No kada je riječ o interferenciji eholokacijskih signala dva ili više šišmiša, situacija može biti malo drugačija. Različita istraživanja su pokazala da šišmiši imaju poteškoće pri orijentaciji i hvatanju plijena kad dođe do interferencije eholokacijskih signala više šišmiša, te radi toga većina njih aktivno izbjegava lov plijena u staništima s visokom koncentracijom pozadinske buke i eholokacijskih signala drugih šišmiša (Corcoran i sur. 2014, Bates i sur. 2007).

Novija istraživanja pokazuju da pojedini šišmiši iste vrste kod leta u skupinama emitiraju signale na različitim frekvencijama, te im na taj način interferencija ne predstavlja problem. Ako bi njihov početni signal (u fazi detekcije) bio na nižoj frekvenciji od drugih pozadinskih signala,

oni bi tada počeli emitirati signale na višim frekvencijama i promijenili bi trajanje signala (Bates i sur. 2007).

## 6. LITERATURA

Bates M. E., Stamper S. A., Simmons J. A., 2007. Jamming avoidance response of big brown bats in target detection. *The Journal of Experimental Biology* **211**, 106-113.

Corcoran A. J., Conner W. E., 2014. Bats jamming bats: Food competition through sonar interference. *Science* **346**, No. 6210, 745-747.

Jones G., Teeling E. C., 2006. The evolution of echolocation in bats. *TRENDS in Ecology and Evolution* **21**, No. 3, 149–156.

Schnitzler H. U., Kalko E. K. V., 2001. Echolocation by Insect-eating Bats. *BioScience* **51**, No. 7, 557-569.

Simmons J. A., Fenton M. B., O'Farrell M. J., 1979. Echolocation and pursuit of prey by bats. *Science* **203**, No. 4375, 16-21.

Hill R. W., Wyse G. A., Anderson, M., 2004. Echolocation. U: Animal physiology, pp 373.

[www.animaldiversity.org/site/accounts/information/Chiroptera.html](http://www.animaldiversity.org/site/accounts/information/Chiroptera.html)

[www.wikipedia.org/wiki/Animal\\_echolocation](http://www.wikipedia.org/wiki/Animal_echolocation)



## 7. SAŽETAK

Šišmiši (red Chiroptera) su najneobičniji red unutar razreda sisavaca. Zajedno sa pticama, jedini su živi kralježnjaci koji su sposobni letjeti. Zahvaljujući letu i ehlokaciji, kao načinu orijentacije, drugi su po brojnosti i rasprostranjenosti u svijetu unutar razreda sisavaca.

Eholokacija, kao njihov način orijentiranja u prirodi, vrlo je specifičan i zahtjeva mnoge morfološke i fiziološke prilagodbe i promjene ponašanja. No, da bih shvatili kako funkcionira ehlokacija potrebno je imati mnoga znanja iz područja fizike zvuka.

U ovom radu, iznesene su neke od osnovnih podjela šišmiša na temelju ehlokacije. Glavna tema rada je način na koji se šišmiši odnose prema problemu interferencije ultrazvučnih signala pri ehlokaciji tijekom lova na plijen.

## 8. SUMMARY

The bats (order of Chiroptera) are the most unusual order in the class of mammals. Alongside birds, they are the only existent vertebrates that are capable of powered flight. Thanks to their ability to fly and echolocation as their way of orientation, they are the second largest specific group of mammals.

Echolocation is one of the most specific ways of orientation and it demands numerous morphological, physiological and behavioural adaptations of sensory and motor systems. To understand the principle of echolocation it is necessary to know a lot about the physics of sound.

In this work, I presented some of the fundamental divisions of bats based on echolocation. The main topic of this work is the way in which bats are dealing with interference from conspecifics and other sources while hunting for prey.